



Investigation of the effect of bentonite paste index on modulus of elasticity, compressive strength and performance of plastic concrete

Farhad Pirmohammadi Alisha^{*}, Navid Mahmoudzadeh^{*}

¹- Assistant Professor of Civil Engineering, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran^{*}
Email: Petrofarhad@iaushab.ac.ir

²-Master of Civil Engineering-Structural Engineering, Shabestar Branch, Islamic Azad University, Shabestar, Iran
Email: NavidMahmoudzadeh@yahoo.com

ABSTRACT

Plastic concrete have been used for some four decades in watertight structures. In these four decades, plastic concrete has been successfully used in engineering control projects for seepage. Plastic concrete is produced by mixing of cement, bentonite, aggregates and water. Presence of bentonite and high water-cement ratio is difference between plastic concrete and conventional concrete. These two factor cause plastic concrete, besides possession of water tight property, have a very lesser compressive strength and modulus of elasticity in comparison with conventional concrete and therefore be more deformable. Researches that fulfilled on this type of concrete in the world and especially in Iran, were not extensive and most of done works have been typical studies on relative projects. In order to make more economical plastic concrete, it is necessary to evaluate the effects of changes in the properties of bentonite, and in particular the effect of its plastic index change, and given that there is no extensive research in this field in our country, we try to move toward this goal in this thesis. Therefore after primary studies and test, 5 mix designs were tested and compressive strength, modulus of elasticity and workability of them were determined. Based on the results, with increasing amount of plastic index of bentonite, compressive strength, elasticity modulus and workability decrease.

Keywords: Plastic concrete, Bentonite, Dough mark, Compressive strength, Modulus of elasticity.

All rights reserved to Civil & Project Journal.



بررسی تأثیر شاخص خمیری بنتونیت بر مدول الاستیسیته، مقاومت فشاری و کارایی بتن پلاستیک

فرهاد پیرمحمدی علیشاه^{۱*}، نوید محمودزاده^۲

^۱- استادیار گروه عمران، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران

پست الکترونیکی:

Petrofarhad@iaushab.ac.ir

^۲- کارشناسی ارشد عمران-مهندسی سازه، واحد شبستر، دانشگاه آزاد اسلامی، شبستر، ایران

پست الکترونیکی

NavidMahmoudzadeh@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۲۱

چکیده

بتن پلاستیک در چهار دهه گذشته به منظور استفاده در سازه‌های آب‌بند، به طور موفقیت آمیزی در کنترل تراش مورد استفاده قرار گرفته است. بتن پلاستیک از ترکیب سیمان، بنتونیت، مصالح سنگی و آب تشکیل می‌شود. از نظر مصالح تشکیل دهنده، تفاوت بتن پلاستیک با بتن معمولی، وجود بنتونیت و نسبت بالای آب به سیمان در آن است. این دو عامل باعث می‌شوند که بتن پلاستیک در ضمن دارا بودن خاصیت خمیری، مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بسیار کمتری نسبت به بتن‌های معمولی داشته و بنابراین انعطاف پذیر باشد. بنتونیت یکی از مهمترین مواد تشکیل دهنده در بتن پلاستیک است که موجب پرشدن حفرات و فضای خالی بتن می‌شود. بتن پلاستیک به عنوان ماده مناسب برای دیوارهای آب‌بند سد مورد استفاده در سدها شناخته می‌شود. در زمینه اثر بنتونیت در بتن پلاستیک، در دنیا و بویژه در ایران تحقیقات جامعی انجام نشده و بیشتر کارهای صورت گرفته، بررسی‌های موردي مرتبط با پژوهه‌های انجام شده است. بدین منظور، برای ساخت بتن پلاستیک بهینه‌تر نیاز است تا اثرات تغییرات مشخصات بنتونیت و بویژه اثر تغییر نشانه خمیری آن مورد ارزیابی قرار گیرد و با توجه به اینکه در کشورمان تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت نگرفته است، لذا در این تحقیق سعی شده است تا گامی در این جهت برداشته شود. به همین منظور، پس از انجام آزمایش‌ها و بررسی‌های مقدماتی و در نهایت انجام آزمایش‌هایی بر روی ۵۱ طرح مختلف و تعیین مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته و کارایی آنها، منحنی‌های استخراج شد. بر اساس نتایج بدست آمده، با افزایش مقدار نشانه خمیری بنتونیت مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته و روانی بتن کاهش می‌یابد.

کلمات کلیدی: بتن پلاستیک، بنتونیت، نشانه خمیری، مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته.

۱- مقدمه

تامین آب همواره از ضروری ترین نیازهای بشر از بد خلقت بوده و بشر از سالیان دور به مهار جریان‌های سطحی و کنترل و ذخیره آن با حفر قنات‌ها و احداث سدها همت گمارده است. با توجه به توسعه روز افزون جوامع و لزوم استفاده صحیح و بهینه از منابع طبیعی و حفاظت از آن، احداث سازه‌هایی نظیر دیوارهای آب بند برای ذخیره سازی آب ضروری به نظر می‌رسد. دیوارهای آب بند موائع زیر سطحی عمودی هستند که برای کاهش یا توقف جریان آبهای زیرزمینی به منظور ذخیره‌سازی یا حفاظت آن طراحی می‌شوند [۱].

امروزه برای ساخت بیشتر سازه‌ها از بتن استفاده می‌شود. این ماده به همراه فولاد عمدت‌ترین مصالح ساختمانی را تشکیل می‌دهند. کل مواد متشکله بتن، بعد از گیرش، به صورت یک مجموعه به هم پیوسته در خواهد آمد. با مصرف انواع مختلف سنگدانه یا سیمان و یا تغییر نسبت‌های مصالح تشکیل دهنده مانند نسبت W/C می‌توان خواص بتن را بطور مطلوب و متناسب با برخی کاربردها تغییر داد، اما رسیدن به خواص مورد نظر ما در بتن همیشه با تغییر نوع و نسبت مصالح مذکور ممکن نیست و به همین دلیل نیاز به اضافه کردن مواد دیگری خواهد بود، به طور مثال برای افزایش قابل توجه مقاومت در بتن، علاوه بر کاهش نسبت W/C و مصرف فوق روان کننده، دوده سیلیسی هم به بتن افزوده می‌گردد و به این ترتیب خواص متفاوتی در مقایسه با بتن معمولی حاصل می‌شود. بتن پلاستیک نیز یکی دیگر از انواع بتن با مواد افزودنی می‌باشد.

عوامل متعددی بروی رفتار بتن پلاستیک اثر گذار است که تاکنون بسیاری از این عوامل یا ناشناخته مانده یا به طور کامل مورد ارزیابی قرار نگرفته است. یکی از این عوامل، نشانه خمیری بنتونیت مورد استفاده در بتن پلاستیک می‌باشد. بدین معنی که تاکنون پژوهشی در ارتباط با اثرگذاری این پارامتر بروی خواص مقاومتی، مدول کشسانی و کارایی بتن انجام نشده است.

بتن پلاستیک بتنی است که از ترکیب آب، سیمان، شن، ماسه و بنتونیت و گاهی خاک رس بددست می‌آید [۲، ۳]. همچنین در بعضی موارد برای بهبود کیفیت بتن از مواد افزودنی استفاده می‌شود. اساس طرح اختلاط بتن پلاستیک بر نتایج آزمایشگاهی استوار می‌باشد و تاکنون استاندارد مشخصی برای مصالح بتن پلاستیک تهیه نشده است، تکنیک‌های کنترل آزمایشگاهی بر اساس استانداردهای فرانسه، آلمان و استاندارد بتن و خاک انگلیس مورد استفاده قرار می‌گیرند [۴].

معمولًاً در بتن پلاستیک از نسبت‌های سیمان به آب پایین‌تری استفاده می‌شود. [۵، ۶] در فرایند ساخت بتن پلاستیک از ژل یا دوغاب بنتونیت که قبل از اختلاط ساخته و عمل آوری شده است، استفاده می‌گردد که نقش معلق نگهداشتن ذرات سیمان، شن و ماسه به هنگام اجرای عملیات، افزایش شکل پذیری و پایین نگه داشتن میزان نفوذپذیری را دارد می‌باشد [۷]. در جدول ۱ ویژگی‌های بتن پلاستیک و بتن معمولی با هم مقایسه شده‌اند.

جدول ۱: مقایسه پارامتر بین بتن معمولی و بتن پلاستیک

نوع بتن	مقاومت فشاری kg/cm^2	ضریب نفوذپذیری cm/s	مقدار سنگدانه kg/m^3	مقدار سیمان Kg/m^3	آب یا دوغاب lit/m^3	چسبندگی	انعطاف پذیری
بتن پلاستیک	۳۰-۱۰	$10^{-8} - 10^{-6}$	۱۵۰۰-۱۰۰۰	۲۰۰-۵۰	۴۷۰-۴۰۰	کم	زیاد
بتن معمولی	۳۵۰-۲۰۰	$10^{-9} - 10^{-7}$	۱۸۵۰-۱۷۵۰	۴۰۰-۲۰۰	۲۱۰-۱۰۰	زیاد	کم

با توجه به وجود انواع بنتونیت‌ها با شاخص‌های خمیری متفاوت، انتخاب بنتونیتی با شاخص خمیری متناسب با ساختگاه سازه که ملزمات طراحی و اجرا سازه را تأمین نماید، همواره جز دغدغه‌های دست اندکاران صنعت آب می‌باشد. افزودن بنتونیت به خاک رس

برای افزایش خصوصیات پلاستیسیته آن، یکی از راه کارهای ممکن برای تأمین رس تماسی در پروژه‌های سد خاکی است. اما بنتونیت مصرفی از طرفی باعث افزایش شاخص خمیری خاک شده و از طرف دیگر، برخی اثرات منفی در مخلوط خاک رس برجای می‌گذارد. بنابراین برای تأمین رس تماسی با این روش، لازم است تغییرات همه خصوصیات ژئوتکنیکی مخلوط رس بنتونیت ارزیابی شود [۸].

در جهان حدود ۱۰۰۰۰۰۰ متر مکعب دیوار آب بند به اجرا در آمده است. [۹] در شصت سال اخیر استفاده از دیوارهای آب بند در سدها توسعه زیادی یافته است، اما اولین کاربرد بتن پلاستیک در دیواره آب بند سد سانتالوس در سال ۱۹۵۹ در ایتالیا گزارش شده است [۱۰].

استفاده از مخلوط سیمان و بنتونیت به عنوان ماده چسباننده مدتی است که در اروپا، آمریکا و برخی کشورهای آسیایی نظیر ژاپن رایج شده است. در کشور کانادا از سال ۱۹۵۷ و در آمریکا از سال ۱۹۶۲ از این تکنیک استفاده شده است. در ژاپن نیز در سال ۱۹۵۹ این تکنولوژی مورد بررسی قرار گرفت. تا سال ۱۹۹۱ در ۷۰ سد بزرگ جهان دیوار آب بند ساخته شد و در همان سال، تنها در ژاپن، در ۲ سد از دیوار آب بند استفاده شده بود. هم اکنون متوسط مصرف سالانه این نوع بتن، در کشور ژاپن ۲۰۰۰۰۰ متر مکعب در سال می‌باشد. در ساخت دیوارهای آب بند که ممکن است به عنوان جزیی از سدها باشند یا به طور جداگانه احداث شوند می‌توان از مصالح و مواد مختلفی استفاده نمود [۱].

باقری و همکاران در سال ۲۰۰۸، تحقیقاتی در خصوص افزودن برخی از موارد نظیر سیلیکا فوم به منظور بهبود ویژگی‌های بتن پلاستیک نیز انجام دادند. بر اساس نتایج آن‌ها و تحقیقات قبلی استفاده از سیلیکا فوم باعث کاهش نفوذپذیری بتن پلاستیک می‌شود [۱۱].

Hinchberger و همکاران در سال ۲۰۱۰ به مقایسه‌ای بین بتن معمولی و بتن پلاستیک با استفاده از یک سری از تست‌های مقاومت فشاری محصور نشده و آزمایش‌های مقاومت فشاری محصور شده پرداختند در حالیکه همزمان نفوذ آب به نمونه‌های بتن انجام می‌شد. همچنین با کم کردن فشار محصور کننده و با کنترل نمودن سرعت انجام آزمایش نیز برای بررسی میزان حساسیت وابستگی به زمان بتن پلاستیک انجام شد. نتایج آزمون نشان می‌دهد که هدایت هیدرولیکی بتن پلاستیک بین دو تا سه مرتبه در آزمایش محصور شده، به علت تشکیل ترک و آماس ترک‌ها افزایش یافته است. علاوه بر این یافته‌ها، بتن پلاستیک رفتار قابل توجهی با زمان را نشان داد، و تغییر قدرت استحکام کشش در برابر محدود کردن تنفس قابل مقایسه با طبیعی بوده است [۳].

کاظمیان و همکاران در سال ۲۰۱۶، در مطالعه، اثر نسبت مخلوط و سیمان و همچنین کیفیت مواد مانند نوع بنتونیت را بر روی مقاومت فشاری و انعطاف پذیری بتن پلاستیک مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که با کاهش نسبت فعالیت، مقاومت فشاری به دلیل افزایش آب آزاد در صورت پایداری سایر پارامترها کاهش می‌یابد. با این حال، سیمان اثر مستقیم بر خواص مکانیکی بتن پلاستیک دارد [۱۲].

عباسلو و همکاران در تحقیقی دیگر در سال ۲۰۱۶، آزمایش‌های آزمایشگاهی بر روی چهار طرح مخلوط مختلف با مواد رسوبی بنتونیت و سپبیولیت انجام دادند تا مواد مناسبی برای بتن انتخاب شوند. با افزایش میزان رس و سیمان، تغییری در خواص نمونه‌ها مشاهده شد. این تغییر با افزایش سن نمونه بیشتر شد. با افزایش محتوای نمک و خاک رس، کاهش قابل توجهی در استحکام فشاری و کششی به وجود آمد. تغییرات خواص مکانیکی بتن تولید شده با اسپبولیت قابل مقایسه با بتن ساخته شده با بنتونیت است که می‌توان آن را در شرایط در دسترس بودن مواد سپبیولیت و آب اشباع شده با آلودگی بالا توصیه کرد. و بهبود و اصلاح مشخصات فیزیکی بتن‌های پلاستیک مانند نفوذ پذیری قدرت و جذب فلز، ترک خوردگی‌ها و افزایش عمر بتن را برای انواع ساختارهای مهندسی را افزایش داد [۱۳].

کاظمیان و قره در سال ۲۰۱۷، با مطالعه بر روی سد بش قارداش به بررسی نسبت مخلوط و نسبت سیمان و همچنین کیفیت مواد، از قبیل نوع بنتونیت بر مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته و نفوذپذیری بتن پلاستیک پرداختند. نتایج نشان داد که با کاهش نسبت

فعالیت بنتونیت، مقاومت فشاری کاهش می‌یابد. و همچنین سیمان اثر مستقیمی بر مدول الاستیسیته و همچنین فشردگی بتن‌های پلاستیک دارد. نتایج نیز نشان داد که سیمان اثر مستقیم بر نفوذپذیری بتن پلاستیک دارد [۱۴].

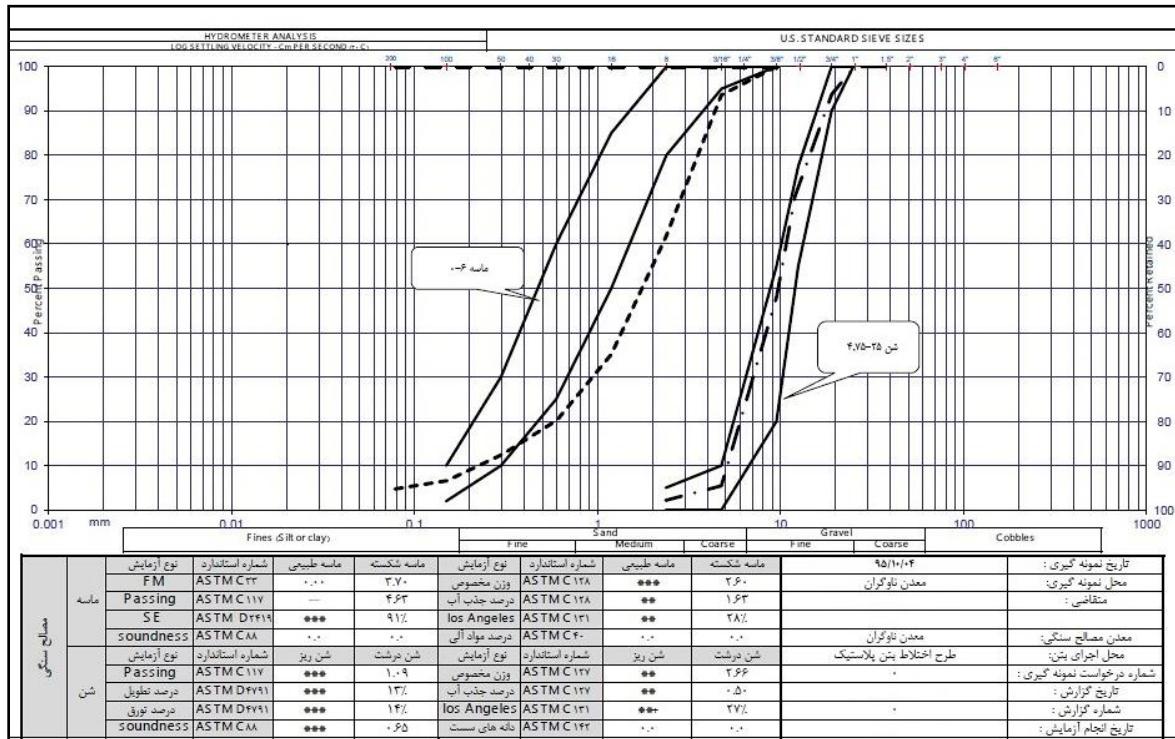
۲- مصالح مورد استفاده در بتن پلاستیک ساخته شده

بتن پلاستیک از سنگدانه‌ها، سیمان، گل روان بنتونیتی تشکیل می‌شود.

۲-۱- سنگدانه‌ها

سنگدانه‌ها حدود ۵۰ درصد کل حجم بتن را در بر می‌گیرد. این میزان حجم شن و ماسه مانع از بهم چسبیدن پیوسته ذرات و در نتیجه کاهش تغییر شکل می‌گردد. حداکثر قطر درشت دانه تا ۳۰ میلی متر و درصد مواد ریزدانه باید زیاد باشد [۱۵].

مصالح سنگدانه‌ای استفاده شده در این پژوهش، حاصل مصالح سنگی انفجاری معدن ناوگران مورد استفاده در سد مخزنی قوچم می‌باشد که منحنی دانه‌بندی این مصالح در شکل ۱ آورده شده است. مصالح سنگدانه‌ای شامل دو نوع سنگدانه بوده که شامل سنگدانه ریزدانه با پوش دانه بندی محدود به ۰۰۵ میلی متر و سنگدانه درشت دانه با پوش دانه بندی محدود به ۰۵ تا ۱۹ میلی متر می‌باشد.



شکل ۱: نمودار دانه‌بندی مصالح سنگی بتن مطابق ASTM C۱۳۶ در مقایسه با استاندارد ASTM C۳۳

۲-۲- سیمان

سیمان یک ماده چسبنده آبی است که با آب، خمیری چسبناک و سخت شونده ایجاد می‌نماید و عمل گیرش آن حتی بدون در معرض قرار گرفتن هوا و به طور محسوسی در زیر آب ادامه می‌یابد. عناصر اصلی تشکیل دهنده آن عبارتند از سیلیکات کلیسیم و آلومینات که در برابر آب تبدیل به سیلیکات آبدار، آلومینات و آهک آزاد می‌شود و همراه با متبلور شدن این اجسام آبدار می‌گردند که ابتدای اساس گیرش و سخت شدنگی سیمان می‌باشد.

به منظور تهیه بتن پلاستیک بایستی میزان سیمان آن خیلی کم در نظر گرفته شود. نسبت سیمان به آب بین ۱/۰ تا ۳/۰ است. هنگامی که نسبت سیمان به آب در این محدوده باشد در آن صورت عملکرد سیمان حاصل از مصالح روبارهای کوره‌های آهن‌گذاری به مراتب بهتر از سیمان پرتلند می‌باشد [۱۶].

شایان ذکر است که نسبت آب به سیمان می‌تواند خارج از محدوده فوق الذکر باشد که این مطلب به نوع سیمان مصرفی بستگی دارد. رعایت این محدودیت باعث ایجاد چسبندگی و مقاومت زیاد خواهد گردد [۱۶]. سیمان مورد استفاده در این تحقیق سیمان تیپ دو کارخانه سیمان بیجار کردستان بوده که برخی از مشخصات آن در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مشخصات سیمان استفاده شده در تحقیق

FR 12467/00		کد فرم:	تاریخ:	نتایج آزمایشات شیمیابی و فیزیکی سیمان پرتلند		از میگاه فنی و مکانیک خاک	
V-CSGH		شماره:	۹۵/۹/۲۳	ASTM C 150-03 به همراه حدود الزامات استاندارد			
		۱		نارخ و شماره درخواست معافیت		۹۵/۹/۱۱	موضع:
				مشخصات نمونه:			نام:
شماره کار:		شماره کار:	۹۵۷۴۱/۷۶۶۷	نام:		مشخصات نمونه:	نام:
شماره نمونه:		۱۰۱۷۳۰					نام:
حدود الزامات فیزیکی برای تیپ های مختلف سیمان پرتلند				آزمایشات شیمیابی		نوع آزمایش	
تیپ سیمان پرتلند				نوع آزمایش	تیپ سیمان پرتلند	مقدار	درصد
V	IV	III	II				
-	-	-	-	۲۸.۶	درصد وزنی آب غلظت طبیعی	-	21.52
12	12	12	12	12	درصد حجمی هوای موجود در علاوه سیمان	6	5.14
0.8	0.8	0.8	0.8	0.05	درصد انسیاط انوکلاو	6	3.64
1160	-	3480	1450	1740	سه روزه	6	63.60
2180	1020	-	2470	2760	هفت روزه	6	2.28
3050	2470	-	-	-	پوند بر اینچ مربع	6	0.24
-	-	-	-	-	بیست و هشت روزه	6	0.23
-	-	-	-	3.14	وزن مخصوص بر حسب گره بر متر سانتی متر مکعب	2.3	1.38
280	280	-	280	280	روشن (بلین)	317	تری اکسید گوگرد (SO_3)
60	60	60	60	60	حداقل	-	Cl
600	600	600	600	600	حداکثر	-	کلریدهای بر حسب Cl
45	45	45	45	45	حداقل	-	افت وزنی در آن حرارت
375	375	375	375	375	حداکثر	-	پایمایند ناخالوں
* $\text{Na}_2\text{O} = \text{Na}_2\text{O} + 0.658 \text{ K}_2\text{O}$				0.75	0.75	0.75	آهک آزاد
				-	-	-	کل فلزات بر حسب Na_2O^{+}
				3	2.5	3	51.63
				-	-	-	C_2S
				-	-	-	22.83
				-	-	-	C_8S
				-	-	-	7.47
				-	-	-	C_3A
				-	-	-	$\text{C}_4\text{AF} + \text{C}_2\text{F}$
				-	-	-	$\text{C}_4\text{AF} + 2\text{C}_3\text{A}$

۳- روش ساخت نمونه‌ها

باتوجه به اینکه به جای استفاده مستقیم از آب در ساخت بتن پلاستیک از ژل بنتونیت استفاده می‌شود لذا اولین قدم برای ساخت بتن پلاستیک، تهیه ژل بنتونیت می‌باشد. برای ساخت ژل بنتونیت ابتدا آب به مقدار لازم بر اساس نسبت‌های ۱:۸، ۱:۹، ۱:۱۰ و ۱:۱۱ را در داخل مالاکسور می‌ریزیم و سپس همزنان با روشن کردن مالاکسور، بنتونیت را به آن اضافه می‌کنیم. از دوغاب ساخته شده پس از گذشت ۲۴ تا ۷۲ ساعت برای تهیه بتن پلاستیک استفاده می‌شود. همچنین مقدار بنتونیت استفاده شده در تهیه ژل بنتونیت در این تحقیق، بر اساس توصیه‌های کمیتل جهانی سدهای بزرگ (۳۰ تا ۵۰ کیلوگرم) ۴۰ کیلوگرم بوده است [۱۶].



شکل ۲: نمونه‌های بتن

در مرحله بعد ژل بنتونیت تهیه شده و عمل آوری شده بعد از گذشت ۲۴ تا ۷۲ ساعت را در داخل میکسر قرار می‌دهیم. سپس سنگدانه و سیمان مورد نیاز جهت تهیه بتن را به ژل بنتونیت موجود در میکسر اضافه می‌نماییم و به مدت حداقل ۳ دقیقه در داخل آن مخلوط می‌نماییم تا بتن تازه آماده شود.

در ابتدا مقرر شده بود که در این تحقیق از ۶ نوع بنتونیت و با ۴ نسبت مختلف آب به سیمان در تهیه بتن پلاستیک استفاده شود که با توجه اینکه ژل‌های تهیه شده با بنتونیت‌های با نشانه خمیری کم (شرکت فرزان پودر مشهد) از ویسکوزیتی بسیار پایین (نزدیک به آب) برخوردار بودند لذا از برنامه مطالعات خارج شدند همچنین در بنتونیت‌های با نشانه خمیر زیاد نیز، امکان ساخت تمامی نسبت‌های مختلف آب به بنتونیت میسر نشد و لذا این طرح‌ها نیز از برنامه انجام آزمایشات خارج شدند و نهایتاً از ۷۲ طرح پیشنهادی اولیه، تنها امکان ساخت ۵۱ طرح مقدور شد. مشخصات ۵۱ طرح ساخته شده در این تحقیق در جدول ۲ آورده شده است.

۴-۴-آزمایش‌ها

۴-۱-آزمایش تعیین حدود اتربرگ

در سال ۱۹۱۱، دانشمند خاک سوئدی، آلبرت اتربرگ، مجموعه‌ای از آزمایش‌ها را برای ارزیابی رابطه بین رطوبت و قوام خاک ارائه کرد، پس از آن در سال ۱۹۳۰، کارل ترازقی و آرتور کاساگرانده از این آزمایش‌ها برای اهداف مهندسی استفاده کردند و از آن پس این آزمایش‌ها به عنوان روشی رایج در شناسایی برخی از مشخصات خاک مورد استفاده گسترده قرار گرفته است. در این تحقیق از استاندارد ASTM-D4318 برای تعیین حد روانی، حد خمیری و به تبع آن نشانه خمیری استفاده شده است [۱۷].



شکل ۳: انجام آزمایش حدود اتربرگ بر روی بنتونیت

۴-۴- آزمایش تعیین لزجت دوغاب بنتونیت

گران روی و سختی مخلوط بستگی کامل به مواد چسبنده دارد. میزان گران روی در آزمایش قیف مارش بایستی برابر ۵۰ ثانیه باشد. یک دوغاب پایدار دارای گران روی ۵۵-۵۰ ثانیه است. در این تحقیق از استاندارد ASTM-C۹۳۹ برای تعیین گران روی دوغاب بنتونیت استفاده شده است [۱۸].

۴-۳- آزمایش آب انداختگی

اساس آزمایش عبارت است از اندازه گیری حجم آب بدست آمده از عرق کردن دوغاب در طول در زمان مشخص شده می باشد. آب انداختگی در حقیقت نوعی عدم جذب می باشد که در آن قسمتی از آب دوغاب بنتونیت به سطح مخلوط آمده و از ذرات بنتونیت جدا می شود. در حقیقت علت آب انداختگی عدم توانایی ذرات بنتونیت در نگه داشتن همه آب بین ذرات خود می باشد. در این تحقیق با رعایت ملزومات استانداردهای بین المللی [۱۶]، محدوده آب انداختگی کمتر از ۴ درصد رعایت شد.

۴-۴- آزمایش تعیین کارایی بتن تازه

کارایی به عنوان سهولت تهیه بتن تازه از مصالح مختلف مورد استفاده در آن و در نتیجه سهولت جابه جا کردن، حمل و اجرای بتن تازه با حفاظت یکپارچگی و یکدستی می باشد. اهمیت یکپارچگی و خمیری به عنوان فاکتورهای موثر در کارایی بتن و ظاهر تمام شده بتن و خدمت پذیری بتن مورد توجه قرار می گیرند. بسته به کاربرد بتن، شکل و ابعاد سازه و ... درجه های متفاوتی از کارایی موردنظر قرار می گیرد. در این تحقیق از استاندارد ASTM-C143 برای تعیین کارایی بتن استفاده گردید [۱۹].



شکل ۴: انجام آزمایش اسلامپ بر روی بتن تازه

۴-۵- آزمایش تعیین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته

نظر به اینکه بتن پلاستیک در سازه‌هایی استفاده می‌شود که نیازمند توان باربری زیاد نمی‌باشد، لذا این نوع بتن، نیاز به دارا بودن مقاومت فشاری زیاد ندارد. بر عکس به منظور دستیابی به مصالحی با تغییر شکل پذیری زیاد باقیستی مصالحی با حداقل مقاومت فشاری انتخاب شود و به همین دلیل منطقی است که مقاومت فشاری مصالح بکار گرفته شده حداکثر از چند کلیوگرم بر سانتی مترمربع بیشتر نباشد. نسبت سیمان به آب مصالح بکار گرفته شده باقیستی نسبت به بتن‌های معمولی از عدد ۵/۰ کمتر انتخاب شود. با وجود این مواد باید دارای استحکام کافی باشند تا شرایط ذیل حاصل شود:

الف- تحمل بار سازه را داشته باشند.

ب- در برابر تنש‌های خاک در عمق‌های مختلف مقاوم باشد.

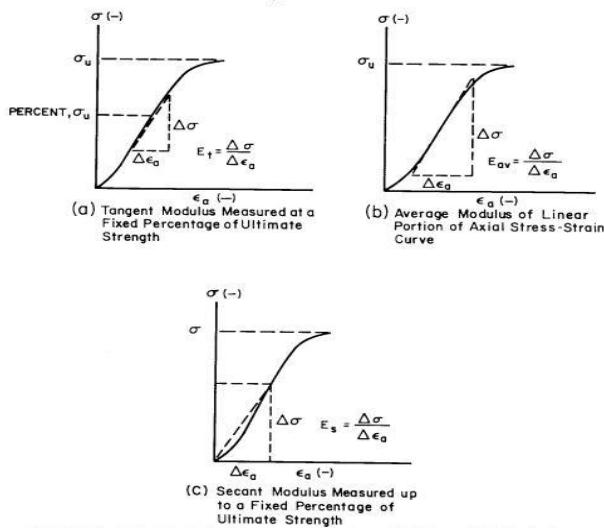
لذا در این مقاله برای اندازه‌گیری مقاومت فشاری نهایی و مدول الاستیسیته از دستگاهی استفاده شد که امکان ترسیم منحنی نیرو- تغییر مکان توسط آن مقدور بود و از روی آن مدول الاستیسیته نیز محاسبه شد. منحنی‌های مربوط به نمونه‌های ۵۱ طرح اختلاط مورد بررسی در این تحقیق در بخش پیوست ارائه شده است. برای تعیین مدول الاستیسیته بتن پلاستیک از روش تانزانی استفاده شده است لازم به ذکر است که بر اساس استاندارد ASTM-D3148 سه روش برای تعیین مدول الاستیسیته وجود دارد که به شرح زیر می‌باشد [۲۰]:

۱- مدول مماسی در یک تنش که درصد ثابتی (ممولاً ۵۰ درصد) از مقاومت نهایی است.

۲- شیب متوسط بخش خطی منحنی تنش- کرنش

۳- مدول سکانت که معمولاً از تنش صفر تا درصد ثابتی از مقاومت نهایی در نظر گرفته می‌شود.

مدول الاستیسیته نمونه‌های بتن پلاستیک در این تحقیق، مطابق روش دوم (شکل ۵) محاسبه گردیدند.



شکل ۵- روش‌های محاسبه مدول یانگ (الاستیسیته) از روی منحنی محور فشار و کرنش محوری

لازم به ذکر است که با توجه به این مطلب که رفتار بتن پلاستیک از بتن معمولی متمایز است لذا نمی‌توان روش ارائه شده در استاندارد ASTM-C469 [۲۱] که در واقع همان محاسبه به روش سکانتی است را استفاده نمود، چرا که در روش سکانتی محاسبات بر پایه این حقیقت استوار است که رفتار بتن معمولی تا ۴۰ درصد مقاومت نهابی الاستیک خطی می‌باشد و بر پایه این رفتار مدول الاستیسیته بتن تعریف شده است. در حالیکه در بتن پلاستیک نه تنها این رفتار خطی نمی‌باشد بله الاستیک نیز نمی‌باشد، پس تعریف مدول الاستیسیته بتن پلاستیک با بتن معمولی یکسان نیست و استفاده از روش سکانتی منجر به ارائه نتایج غیر دقیق می‌گردد.

برای این آزمایش‌ها و به طور کلی آزمایش‌هایی که در آنها تعیین مقاومت و مدول الاستیسیته مورد نظر بود، سطح نمونه‌ها کلاهک‌گذاری گردید. برای فراهم نمودن رویه مسطح، سطوح انتهایی نمونه‌های بتن سخت شده جهت منطبق بودن با ملزمات استاندارد ASTM C617 به منظور جلوگیری از تمرکز و توزیع غیریکنواخت تنش روی نمونه‌ها کلاهک‌گذاری انجام شد. در این پژوهه از انود گج برای کلاهک‌گذاری استفاده شده است [۲۲].

دستگاه مورد استفاده در آزمایش‌های مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته، جک بتن پلاستیک نام دارد که ساخت شرکت آزمون ساز مبنا بوده و از مزایای آن می‌توان به قابلیت بارگذاری در سرعت‌های مختلف از ۰/۰۱ تا ۳ میلی‌متر بر دقیقه و مجهز بودن آن به یک رسام جهت رسم منحنی‌های تنش-کرنش و نیز یه نمایشگر نیرو-تغییرمکان دیجیتال اشاره کرد.

سرعت بارگذاری در این آزمایش بر اساس کارهای انجام شده توسط محققان قبلی برابر ۰/۰ میلی‌متر بر دقیقه در نظر گرفته شد

[۲۳]



شکل ۶: جک بتن پلاستیک

آزمایش تعیین مقاومت فشاری در سن ۷ روزه و تعیین مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری بر روی نمونه‌های در سن ۷ و ۲۸ روزه انجام شد. لازم به ذکر است با توجه به محدودیت جک بتن پلاستیک به بارگذاری تا ۵ تن، از قالب با ابعاد 15×۳۰ سانتی‌متر استفاده شد. شایان ذکر است که تعداد نمونه‌های ساخته شده برای هر طرح اختلاط ۵ نمونه بوده است که دو نمونه آن در سن ۷ روزه و ۳ نمونه آن در سن ۲۸ روز تحت آزمایش‌های ذکر شده قرار گرفته است.

۶-۴- عمل آوری نمونه‌ها

اصل‌اً عمل آوری نمونه‌ها به دو منظور انجام می‌شود. اولاً برای فراهم نمودن رطوبت کافی برای انجام واکنش‌های سیمان که نیاز به رطوبت مناسب دارد تا از ایجاد ترک‌های پلاستیک روی سطح بتن جلوگیری شود. ثانیاً برای ایجاد دمای مناسب و مقابله با مسایل حرارتی بتن. با توجه به اینکه هدف انجام آزمایش‌ها در این تحقیق مقایسه بین رفتار مکانیکی بتن‌های پلاستیک ساخته شده از بنتونیت‌های ساخته شده با نشانه خمیری متفاوت بوده است، لذا برنامه آزمایش‌ها چنان تعیین شد که تمامی نمونه‌ها در شرایط یکسان و در محلی معین در آزمایشگاه و در داخل استخر آب در دمای ۲۱ درجه نگهداری شود.

۵- نتایج و بحث

۱-۵- نتایج آزمایش تعیین حدود اتربرگ بنتونیت

نتایج آزمایش حدود اتربرگ انجام شده بر روی منابع مختلف بنتونیت در جدول ۲ آورده آمده است.

جدول ۲: نتایج آزمایش تعیین حدود اتربرگ انجام شده بر روی منابع مختلف استفاده شده

منبع تامین بنتونیت	حد روانی (درصد)	حد خمیری (درصد)	گام خمیری (درصد)
فرزان پودر مشهد	۹۰	۳۹	۵۱
بنتونیت چینی	۱۷۸	۴۵	۱۳۳
درین کلشان	۲۶۰	۴۱	۲۱۹
باریت فلات ایرانیان	۳۹۵	۴۵	۳۵۰

۲-۵- نتایج آزمایش تعیین ویسکوزیته ژل بنتونیت

براساس نتایج آزمایش مارش انجام شده بر روی دوغاب بنتونیت عمل آوری شده، با افزایش نشانه خمیری بنتونیت‌های مصرفی، ویسکوزیته ژل بنتونیت افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت آب به بنتونیت مصرفی، مقدار ویسکوزیته ژل عمل آوری شده کاهش می‌یابد. در تفسیر این موضوع می‌توان چنین شرح داد که با افزایش مقدار نشانه خمیری، آب جذب شده توسط بنتونیت افزایش یافته و به تبع آن مقدار ویسکوزیته دوغاب بنتونیت افزایش می‌یابد به علاوه با ثابت بودن مقدار بنتونیت و افزدون آب به مخلوط، قدری ویسکوزیته کاهش می‌یابد که محققین قبلی نیز به نتایج آزمایش قیف مارش در جدول ۳ آورده شده است.

۳-۵- نتایج آزمایش اسلامپ

خصوصیات فیزیکی و شیمیایی بنتونیت به عنوان افزونی‌های ویژه که در طرح اختلاط بتن پلاستیک به کار گرفته شده‌اند، باعث بروز رفتار متفاوتی نسبت به بتن معمولی شده است. اولین تاثیر این موارد بر روی اسلامپ بتن مشاهده شده است که با وجود نسبت آب به سیمان و اجزای یکسان در طرح اختلاط‌های مختلف از کانی‌های رسی، فقط تحت تاثیر تفاوت نشانه خمیری، اسلامپ‌های متفاوتی نشان داده شدند. احتمالاً این امر اینگونه قابل تفسیر است که آب طرح اختلاط، توسط مواد کلوئیدی جذب شده است. از طرفی چون قابلیت جذب آب بنتونیت با نشانه خمیری بیشتر به دلیل ساختمان کانی شناسی آن به مراتب بیشتر از بنتونیت با نشانه خمیری کمتر است. به همین سبب نیز اسلامپ بتن‌های ساخته شده از بنتونیت با نشانه خمیری بیشتر، کمتر از نمونه‌های ساخته شده از بنتونیت‌های با نشانه خمیری کمتر بوده است. روی دیگر سکه در این تفسیر این است که این مشاهدات حاکی از آن می‌باشد که در درون ماتریس چند فازی نمونه‌های ساخته شده از بنتونیت با نشانه خمیری بیشتر، آب بیشتری ذخیره شده است. نتایج آزمایش تعیین روانی بتن پلاستیک تازه در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: نتایج آزمایش مارش و روانی بتن تازه

کد طرح	مقدار نشانه خمیری بنتونیت (درصد)	نسبت بنتونیت به آب (درصد)	دمای دوغاب (درجه سانتیگراد)	مقدار شن* (کیلوگرم)	مقدار ماسه* (کیلوگرم)	مقدار سیمان* (کیلوگرم)	مارش (ثانیه)	روانی (سانتی متر)
M-۳۷	۱۳۳	۱۲/۵۰	۱۷	۶۵۴	۹۶۸	۱۲۰	۳۲	۱۴
M-۳۸	۱۳۳	۱۲/۵۰	۱۷	۶۴۷	۹۵۹	۱۴۰	۳۲	۱۳
M-۳۹	۱۳۳	۱۲/۵۰	۱۷	۶۴۱	۹۴۹	۱۶۰	۳۲	۱۳/۵۰
M-۴۰	۱۳۳	۱۱/۱۱	۱۷	۶۱۲	۹۰۷	۱۲۰	۳۱	۱۸
M-۴۱	۱۳۳	۱۱/۱۱	۱۷	۶۰۵	۸۹۷	۱۴۰	۳۱	۲۰
M-۴۲	۱۳۳	۱۱/۱۱	۱۷	۵۹۹	۸۸۷	۱۶۰	۳۱	۲۰
M-۶۳	۲۱۹	۱۲/۵۰	۱۶	۶۵۴	۹۶۸	۱۲۰	۷۰	۱۲
M-۶۴	۲۱۹	۱۲/۵۰	۱۶	۶۴۷	۹۵۹	۱۴۰	۷۰	۱۲/۵۰

۱۳	۷۰	۱۶۰	۹۴۹	۶۴۱	۱۶	۱۲/۵۰	۲۱۹	M-۶۵
۱۷	۶۰	۱۲۰	۹۰۷	۶۱۲	۱۵	۱۱/۱۱	۲۱۹	M-۱۶
۱۸	۶۰	۱۴۰	۸۹۷	۶۰۵	۱۵	۱۱/۱۱	۲۱۹	M-۱۷
۱۸	۶۰	۱۶۰	۸۸۷	۵۹۹	۱۵	۱۱/۱۱	۲۱۹	M-۱۸
۱۸	۵۵	۱۲۰	۸۴۵	۵۷۰	۱۷	۱۰	۲۱۹	M-۱۳
۲۰	۵۵	۱۴۰	۸۲۵	۵۶۴	۱۷	۱۰	۲۱۹	M-۱۴
۱۹	۵۵	۱۶۰	۸۲۵	۵۵۷	۱۷	۱۰	۲۱۹	M-۱۵
۲۰	۴۸	۱۲۰	۷۸۳	۵۲۹	۱۵	۹/۱	۲۱۹	M-۱۹
۲۰	۴۸	۱۴۰	۷۷۳	۵۲۲	۱۵	۹/۱	۲۱۹	M-۲۰
۲۱	۴۸	۱۶۰	۷۶۳	۵۱۵	۱۵	۹/۱	۲۱۹	M-۲۱

ادامه جدول ۳: نتایج آزمایش مارش و روانی بتن تازه

کد طرح	مقدارنشانه خمیری بنتونیت (درصد)	نسبت آب (درصد)	دهمای دوغاب (درجه سانتیگراد)	مقدار شن (کیلوگرم)	مقدار ماسه (کیلوگرم)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	مارش (ثانیه)	روانی (سانتری مترا)
M-۲۲	۲۵۵	۱۲/۵۰	۱۸	۶۵۴	۹۶۸	۱۲۰	۱۴۷	۱۲
M-۲۳	۲۵۵	۱۲/۵۰	۱۸	۶۴۷	۹۵۹	۱۴۰	۱۴۷	۹
M-۲۴	۲۵۵	۱۲/۵۰	۱۸	۶۴۱	۹۴۹	۱۶۰	۱۴۷	۹
M-۱	۲۵۵	۱۱/۱۱	۲۲	۶۱۲	۹۰۷	۱۲۰	۷۵	۱۶
M-۲	۲۵۵	۱۱/۱۱	۲۲	۶۰۵	۸۹۷	۱۴۰	۷۵	۱۶
M-۳	۲۵۵	۱۱/۱۱	۲۲	۵۹۹	۸۸۷	۱۶۰	۷۵	۱۶
M-۴	۲۵۵	۱۰	۱۸	۶۵۴	۹۶۸	۱۲۰	۶۰	۱۸
M-۵	۲۵۵	۱۰	۱۸	۶۴۷	۹۵۹	۱۴۰	۶۰	۱۷
M-۶	۲۵۵	۱۰	۱۸	۶۴۱	۹۴۹	۱۶۰	۶۰	۱۹

۲۰	۵۳	۱۲۰	۹۰۷	۶۱۲	۱۸	۹/۱	۲۵۵	M-۲۵
۲۰/۵۰	۵۳	۱۴۰	۸۹۷	۶۰۵	۱۸	۹/۱	۲۵۵	M-۲۶
۱۹	۵۳	۱۶۰	۸۸۷	۵۹۹	۱۸	۹/۱	۲۵۵	M-۲۷
۱۲	کیک	۱۲۰	۹۶۸	۶۵۴	۱۷	۱۲/۵	۲۹۸	M-۶۰
۹	کیک	۱۴۰	۹۵۹	۶۴۷	۱۷	۱۲/۵	۲۹۸	M-۶۱
۸	کیک	۱۶۰	۹۴۹	۶۴۱	۱۷	۱۲/۵	۲۹۸	M-۶۲
۱۶	۳۰۰	۱۲۰	۹۰۷	۶۱۲	۱۷	۱۱/۱۱	۲۹۸	M-۴۳
۱۵	۳۰۰	۱۴۰	۸۹۷	۶۰۵	۱۷	۱۱/۱۱	۲۹۸	M-۴۴
۱۵	۳۰۰	۱۶۰	۸۸۷	۵۹۹	۱۷	۱۱/۱۱	۲۹۸	M-۴۵

ادامه جدول ۳: نتایج آزمایش مارش و روانی بتن تازه

روانی (سانتی متر)	مارش (ثانیه)	مقدار سیمان (کیلوگرم)	مقدار ماشه (کیلوگرم)	مقدار شن (کیلوگرم)	دمای دوغاب (درجه سانتیگراد)	نسبت بنتونیت به آب (درصد)	مقدار نشانه خمیری بنتونیت (درصد)	کد طرح
۱۸.۵	۱۰۵	۱۲۰	۸۴۵	۵۷۰	۱۷	۱۰	۲۹۸	M-۴۶
۱۶	۱۰۵	۱۴۰	۸۲۵	۵۶۴	۱۷	۱۰	۲۹۸	M-۴۷
۱۷.۵	۱۰۵	۱۶۰	۸۲۵	۵۵۷	۱۷	۱۰	۲۹۸	M-۴۸
۱۹.۵	۶۰	۱۲۰	۹۰۷	۶۱۲	۱۷	۹.۱	۲۹۸	M-۴۹
۲۰.۵	۶۰	۱۴۰	۸۹۷	۶۰۵	۱۷	۹.۱	۲۹۸	M-۵۰
۱۹	۶۰	۱۶۰	۸۸۷	۵۹۹	۱۷	۹.۱	۲۹۸	M-۵۱
۱۳	کیک	۱۲۰	۹۰۷	۶۱۲	۱۷	۱۱/۱۱	۳۵۰	۲۸M-
۱۲.۵	کیک	۱۴۰	۸۹۷	۶۰۵	۱۷	۱۱/۱۱	۳۵۰	۲۹M-

۱۴	کیک	۱۶۰	۸۸۷	۵۹۹	۱۷	۱۱/۱۱	۳۵۰	۳۰M-
۱۵.۵	۱۱۱	۱۲۰	۸۴۵	۵۷۰	۱۹	۱۰	۳۵۰	M-۳۱
۱۵	۱۱۱	۱۴۰	۸۲۵	۵۶۴	۱۹	۱۰	۳۵۰	M-۳۲
۱۶	۱۱۱	۱۶۰	۸۲۵	۵۵۷	۱۹	۱۰	۳۵۰	M-۳۳
۱۸	۷۰	۱۲۰	۷۸۳	۵۲۹	۱۹	۹/۱	۳۵۰	M-۳۴
۱۹	۷۰	۱۴۰	۷۷۳	۵۲۲	۱۹	۹/۱	۳۵۰	M-۳۵
۲۰	۷۰	۱۶۰	۷۶۳	۵۱۵	۱۹	۹/۱	۳۵۰	M-۳۶

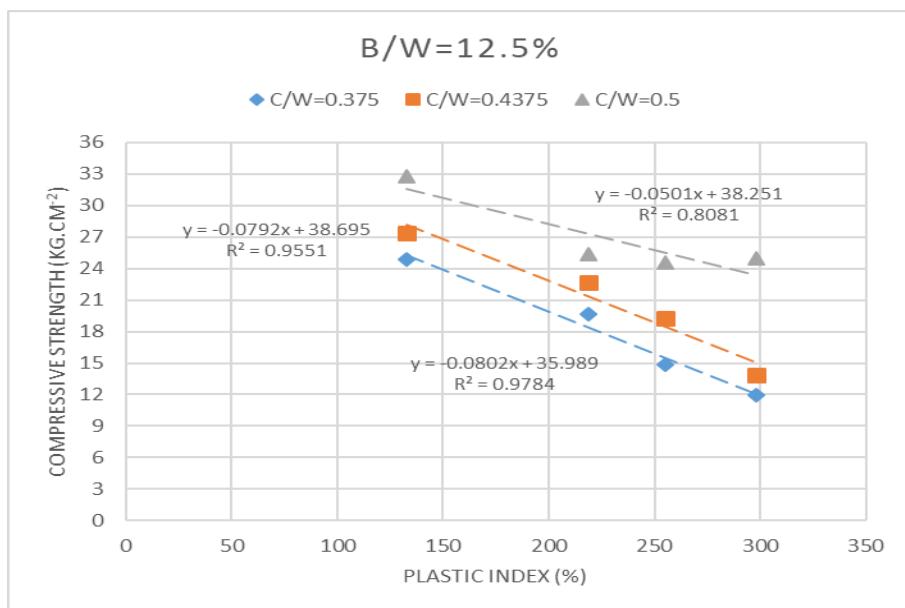
= مقدار ذکر شده برای تولید یک متر مکعب بتن پلاستیک می‌باشد.

*** = مقدار بنتونیت در تمامی طرح‌ها ثابت و برابر ۴۰ کیلوگرم بوده است.

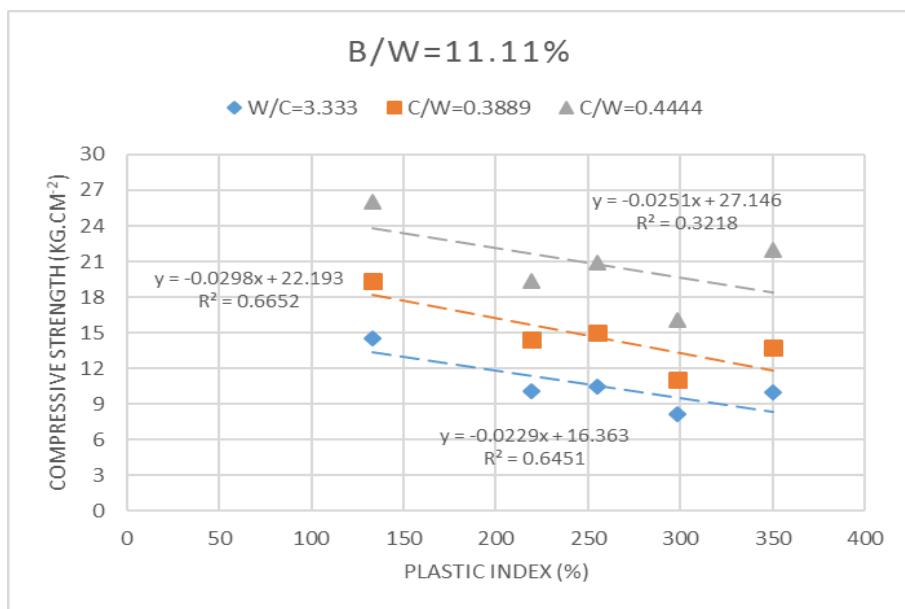
۴-۵- نتایج آزمایش تعیین مقاومت فشاری

در این قسمت نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری بر روی ۵۱ طرح اختلاط انجام شده در این تحقیق ارائه خواهد شد. پارامترهای که اثر آن بر مقاومت نشان داده شده است عبارتند از: تاثیر نشانه خمیری بر مقاومت فشاری که موضوع اصلی این تحقیق می‌باشد و بررسی نسبت سیمان بر آب در نسبت‌های مختلف بنتونیت بر آب. لازم به ذکر است که مقدار بنتونیت استفاده شده در تمامی طرح‌ها ثابت و برابر ۴۰ کیلوگرم در هر مترمکعب بتن پلاستیک می‌باشد.

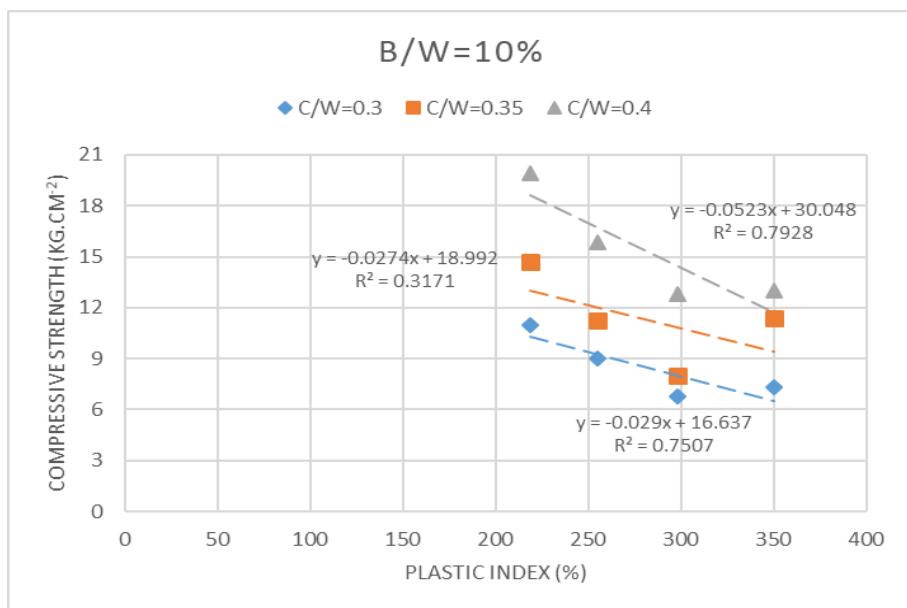
همانطور که در اشکال ۷ تا ۱۰ مشاهده می‌شود در بتن پلاستیک مانند سایر انواع بتن، افزایش نسبت سیمان به آب موجب افزایش مقاومت فشاری می‌گردد. این نتیجه در کارهای محققین دیگر در زمینه انواع بتن از جمله بتن پلاستیک به چشم می‌خورد [۲۴]. از آنجا که مقاومت بتن تحت تاثیر حجم کل منافذ داخل آن قرار دارد و نسبت آب به سیمان در تغییرات بخش عمده حجم مذکور تاثیرگذار است، و نسبت آب به سیمان را می‌توان مهمترین پارامتر موثر در مقاومت بتن دانست. البته پارامترهای مربوط به سنگدانه‌ها نظری مقدار، اندازه، دانه بندی و شکل آنها نیز در مقاومت بتن تاثیر گذارند اما این عوامل در مقایسه با نسبت آب به سیمان از اهمیت کمتری برخوردار هستند [۲۶].



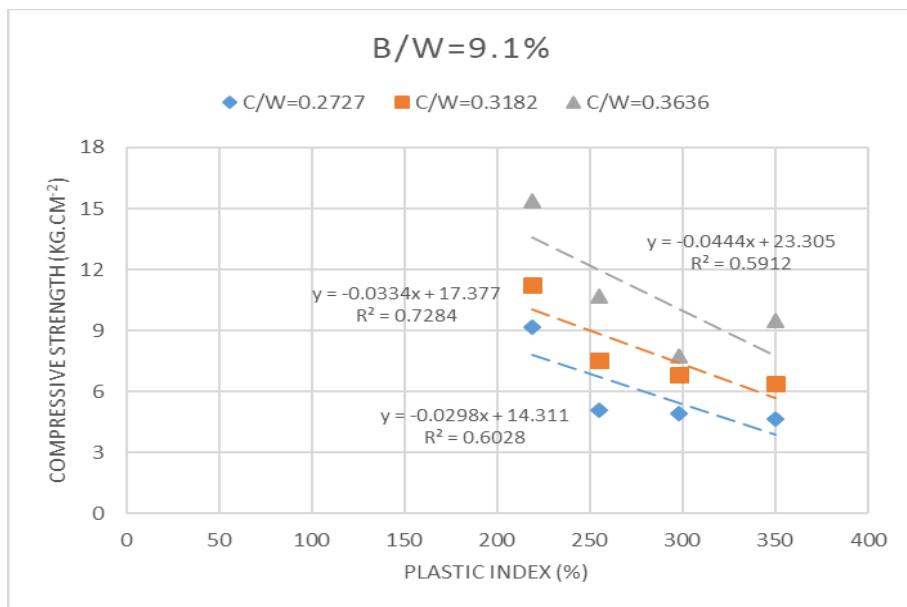
شکل ۷: اثر تغییرات نشانه خمیری بنتونیت بر مقاومت فشاری در نسبت بنتونیت به آب ۱۲/۵۰ درصد در نسبت‌های مختلف سیمان به آب



شکل ۸- اثر تغییرات نشانه خمیری بنتونیت بر مقاومت فشاری در نسبت بنتونیت به آب ۱۱/۱۱ درصد در نسبت‌های مختلف سیمان به آب



شکل ۹- اثر تغییرات نشانه خمیری بنتونیت بر مقاومت فشاری در نسبت بنتونیت به آب ۱۰ درصد در نسبت‌های مختلف سیمان به آب



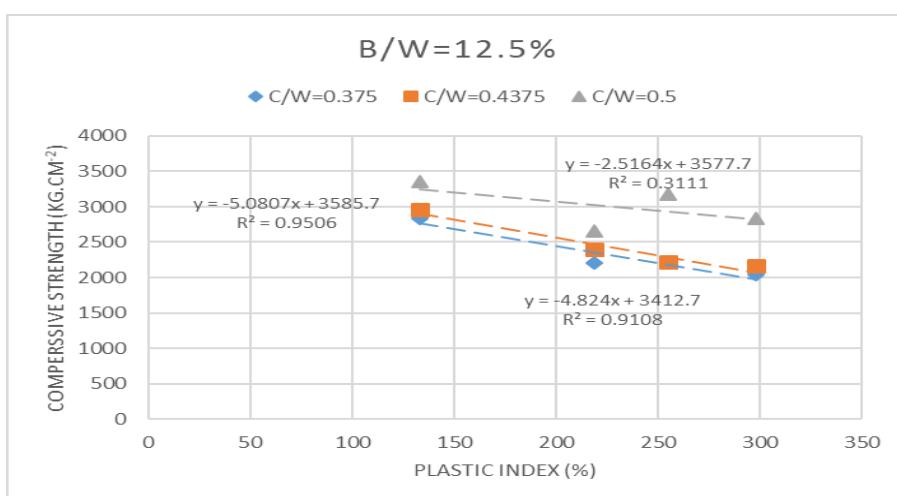
شکل ۱۰- اثر تغییرات نشانه خمیری بنتونیت بر مقاومت فشاری در نسبت بنتونیت به آب ۹/۱ درصد در نسبت‌های مختلف سیمان به آب

بر اساس نتایج بدست آمده در محدوده نشانه خمیری بنتونیت‌های استفاده شده، با افزایش مقدار نشانه خمیری، عموماً مقاومت فشاری کاهش می‌یابد، لیکن ممکن است در محدوده خارج از این تحقیق نتایج متفاوتی بدست آید. همچنین با کاهش مقدار بنتونیت به آب، مقدار تاثیر پذیری مقاومت فشاری از نشانه خمیری کاهش می‌یابد. از طرفی تقریباً با کاهش مقدار سیمان به آب نیز، مقدار تاثیرپذیری

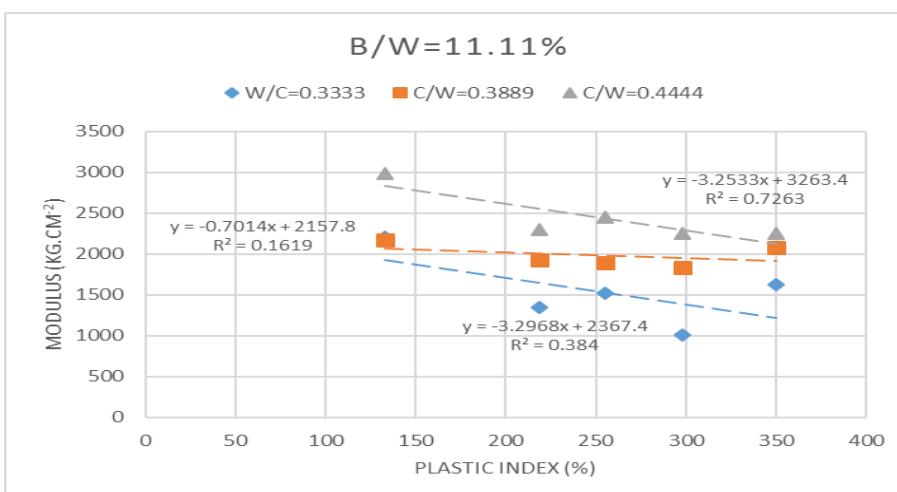
پارامتر مقاومت فشاری از نشانه خمیری کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که نتایج بدست صرفاً در محدوده تغییرات نشانه خمیری و در بنتونیت ثابت ۴۰ کیلوگرم می‌تواند صادق باشد.

۵-۵- نتایج آزمایش تعیین مدول الاستیسیته

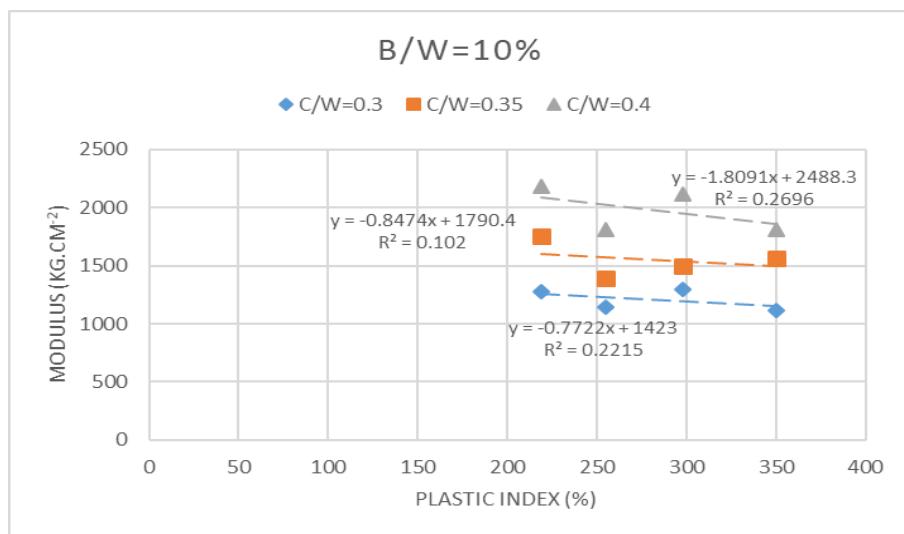
در این قسمت نتایج آزمایش‌های مدول الاستیسیته بر روی ۵۱ طرح اختلاط مورد انجام شده در این مقاله ارائه خواهد شد. با توجه به اینکه با افزایش مقاومت فشاری، مدول الاستیسیته نیز افزایش می‌یابد لذا تغییرات مدول الاستیسیته با تغییرات نشانه خمیری و نسبت سیمان به آب، دارای روند مشابهی می‌باشد که نتایج تغییرات این پارامترها بر مدول الاستیسیته در اشکال ۱۱ تا ۱۴ آمده است. هچنین رابطه بین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته نیز در شکل ۱۵ ارائه شده است که بر اساس آن می‌توان رابطه $E = 338.4f_c^{0.6514}$ را مابین دو پارامتر مذکور ارائه کرد که واحد هر دو پارامتر بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد.



شکل ۱۱- اثر تغییرات نشانه خمیری بنتونیت بر مدول الاستیسیته در نسبت بنتونیت به آب ۱۲/۵۰ درصد در نسبت‌های مختلف سیمان به آب

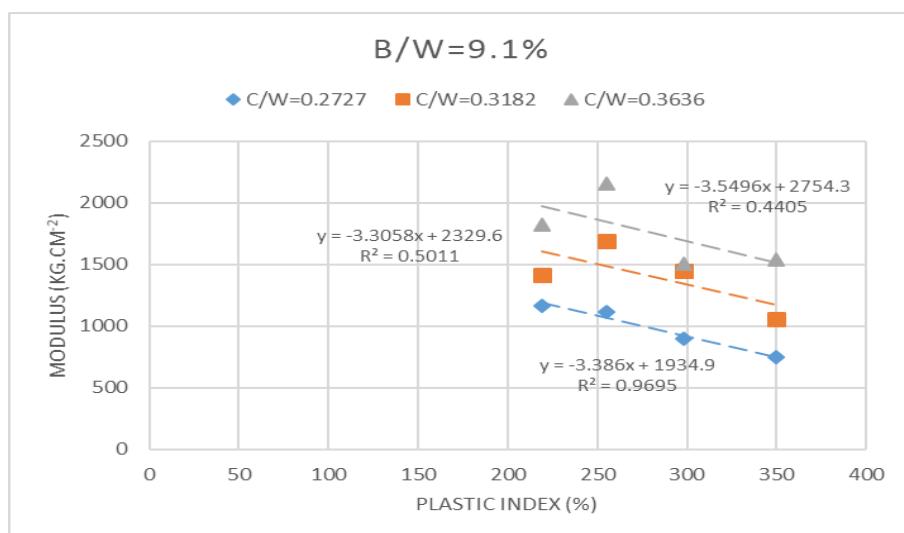


شکل ۱۲- اثر تغییرات نشانه خمیری بنتونیت بر مدول الاستیسیته در نسبت بنتونیت به آب ۱۱/۱۱ درصد در نسبت‌های مختلف سیمان به آب



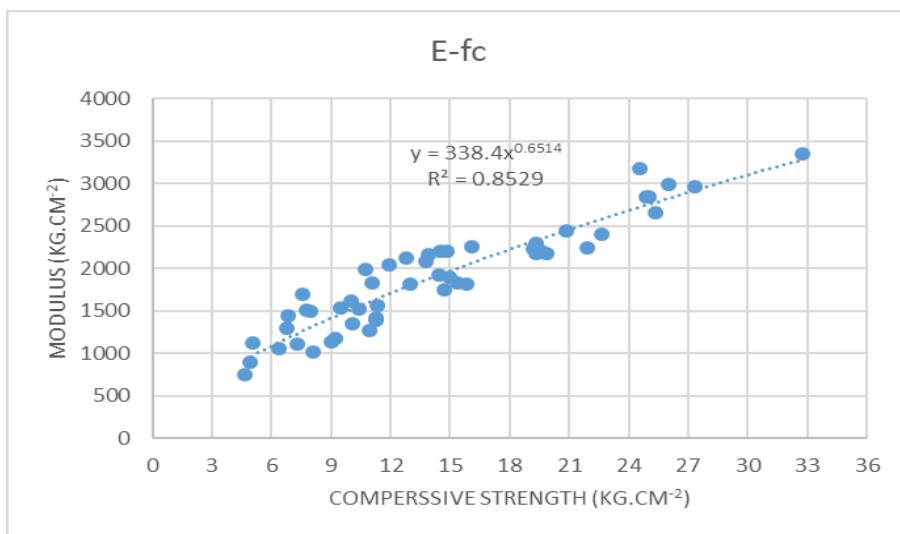
شکل ۱۳- اثر تغییرات نشانه خمیری بنتونیت بر مدول الاستیسیته

در نسبت بنتونیت به آب ۱۰ درصد در نسبت‌های مختلف سیمان به آب



شکل ۱۴- اثر تغییرات نشانه خمیری بنتونیت بر مدول الاستیسیته

در نسبت بنتونیت به آب ۹/۱ درصد در نسبت‌های مختلف سیمان به آب



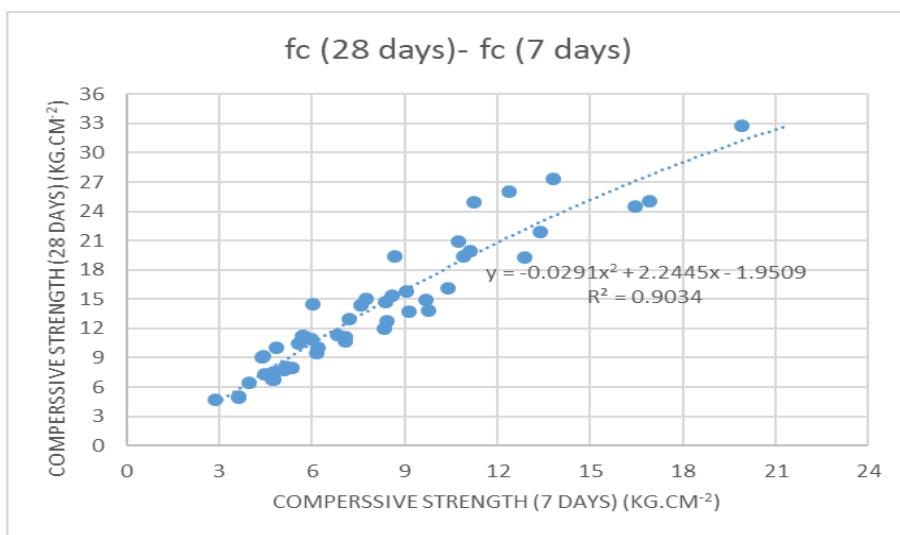
شکل ۱۵- رابطه بین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بتن پلاستیک

همانگونه که پیش تر ذکر شد و با توجه به رابطه بین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بدست آمده در این تحقیق، روند تغییرات مدول الاستیسیته با نشانه خمیری، مشابه روند تغییرات مقاومت فشاری با نشانه خمیری می باشد.

۶-۵- روند توسعه مقاومت فشاری

روند تغییرات مقاومت فشاری بتن پلاستیک با گذشت زمان و رابطه بتن مقاومت فشاری ۷ روزه با مقاومت فشاری ۲۸ روز در شکل ۱۶ آورده شده است.

بر این اساس رابطه بتن پارامترهای مذکور با رابطه $f_{c(28)} = -0.0291f_{c(7)}^3 + 2.2445f_{c(7)} - 1.9509$ می باشد.



شکل ۱۶- رابطه بین مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه بتن پلاستیک

۶- نتیجه گیری

- نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق به صورت جمع بندی شده و مختصر ارائه می‌گردد.
- منحنی تنش-کرنش بتن پلاستیک با بتن‌های معمولی تفاوت دارد. این نوع بتن در ابتدای بارگذاری دارای رفتار غیر خطی بوده و مانند بتن معمولی دارای شکست ناگهانی نمی‌باشد.
 - براساس نتایج آزمایش مارش انجام شده بر روی دوغاب بنتونیت عمل آوری شده، به ترتیب افزایش نشانه خمیری بنتونیت‌های مصرفی و نسبت آب به بنتونیت، موجب افزایش و کاهش ویسکوزیتۀ ژل بنتونیت می‌گردد.
 - با توجه به نتایج بدست آمده، اسلامی بتن‌های ساخته شده از بنتونیت با نشانه خمیری بیشتر، کمتر از نمونه‌های ساخته شده از بنتونیت‌های با نشانه خمیری کمتر بوده است.
 - بر اساس نتایج بدست آمده در محدوده نشانه خمیری بنتونیت‌های استفاده شده، با افزایش مقدار نشانه خمیری، عموماً مقاومت فشاری کاهش می‌یابد، لیکن ممکن است در محدوده خارج از این تحقیق نتایج متفاوتی بدست آید. همچنین با کاهش مقدار بنتونیت به آب، مقدار تاثیر پذیری مقاومت فشاری از نشانه خمیری کاهش می‌یابد. از طرفی تقریباً با کاهش مقدار سیمان به آب نیز، مقدار تاثیر پذیری پارامتر مقاومت فشاری از نشانه خمیری کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که نتایج بدست صرفاً در محدوده تغییرات نشانه خمیری و در مقدار بنتونیت ثابت ۴۰ کیلوگرم می‌تواند صادق باشد.
 - مدول الاستیسیته و مقاومت فشاری بتن پلاستیک با هم رابطه مستقیم داشته و هر عامل موثر در خواص این نوع بتن، موجب افزایش یا کاهش همزمان مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته می‌گردد. در این تحقیق، رابطه $E = 338.4f_c^{0.6514}$ مابین دو پارامتر مذکور استخراج شد که واحد هر دو پارامتر بر حسب کیلوگرم بر متر سانتی مترا مربع می‌باشد.
 - با توجه به رابطه بین مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته بدست آمده در این تحقیق، روند تغییرات مدول الاستیسیته با نشانه خمیری، مشابه روند تغییرات مقاومت فشاری با نشانه خمیری می‌باشد.
 - بر اساس نتایج آزمایش‌های مقاومت فشاری ۷ و ۲۸ روزه انجام شده ببروی بتن پلاستیک سخت شده، رابطه $f_{c(28)} = 1.9509 - 1.91f_{c(7)} + 2.2445f_{c(7)^2}$ مابین این دو پارامتر استخراج شده است.

مراجع

- [۱] Noorpur M, Karbati Asl R, Zandi. ۲۰۱۱. Investigation of the effect of natural pozzolan (Sahand tuff) on the properties of plastic concrete. Sixth National Congress of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, May ۶ and ۷, pp: ۱-۸.
- [۲] Liu J.P., L. Li, C.W. Miao, Q. Tian, Q.P. Ran and Y.J. Wang, ۲۰۱۱. Reduction of water evaporation and cracks on plastic concrete surface by monolayers. Colloids Surf. A Physicochem. Eng. Asp., ۳۸۴(۱-۲): ۴۹۶-۵۰۰.
- [۳] Hinchberger S., J. Weck and T. Newson, ۲۰۱۰. Mechanical and hydraulic characterization of plastic concrete for seepage cut-off walls. Can. Geotech. J., ۴۷(۴), pp: ۴۶۱-۴۷۱.
- [۴] Afshin H, Yathribi S, Sadeghi Dodran R. ۲۰۰۵. The effect of pozzolanic additives on the properties of plastic concrete, ۲nd National Congress of Civil Engineering, Tehran, University of Science and Technology.
- [۵] Afsharnejad M., Olipour M., alias M. ۲۰۱۲. Modification of clay properties for use in dam sealing walls. ۹th International Congress of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, pp: ۱-۶.

- [۶] Soroush M., Mujtahid A.F. ۲۰۱۲. General design and implementation of plastic concrete sealing walls behind dams. Proceedings of a workshop and specialized workshop on specific issues of dam design and related organizations, Isfahan University of Technology, Isfahan.
- [۷] Secretary A. ۲۰۱۴. Laboratory study of the effect of bentonite content on compressive strength, elastic modulus and permeability of plastic concrete, ۱۸th Conference of Civil Engineering Students, ۱۱, ۱۲, ۱۳ September, Urmia University.
- [۸] Bagheri, A. R. Alibabae, M. Babaie, M. ۲۰۰۸. Reduction in the permeability of plastic concrete for cut-off walls through utilization of silica fume, Construction and Building Materials, ۲۲ (۸), pp ۱۲۴۷-۱۲۵۲.
- [۹] Imitation of the famous M., Pourbagheri H. ۲۰۱۳. Application of plastic concrete in sealing the foundations of earth dams. The First National Conference on Geotechnical Engineering of Iran, Faculty of Engineering, Mohaghegh Ardabili University, October ۲۰, ۲۰۱۰.
- [۱۰] Mohajeri of Qala-e-R Tower, Ajam A. ۲۰۱۲ Investigation of the effect of water to cement ratio on the permeability of plastic concretes in dam wall sealing, Second National Conference on New Findings in Civil Engineering, Abad, ۱۵ and ۱۶ Azar, Islamic Azad University, Najaf Branch.
- [۱۱] Bagheri, A. R. Alibabae, M. Babaie, M. ۲۰۰۸. Reduction in the permeability of plastic concrete for cut-off. Construction and Building Materials ۲۲ (۲۰۰۸), pp: ۱۲۴۷-۱۲۵۲
- [۱۲] Kazemian S., Ghareh S. Torkanloo N. ۲۰۱۶. To Investigation of Plastic Concrete Bentonite Changes on It's Physical Properties. international conference on sustainable design engineering construction. Procedia Engineering ۱۴۵.۱۰.۸۰ – ۱۰.۸۷
- [۱۳] Abbaslou H, Ghanizade A.R, Tavana A. ۲۰۱۶. The compatibility of bentonite/sepiolite plastic concrete cut-off wall material. Construction and Building Materials, ۱۲۴(۱۵), pp: ۱۱۶۰-۱۱۷۳
- [۱۴] Kazemian S, Ghareh S. ۲۰۱۷. Effects of Cement, Different Bentonite, and Aggregates on Plastic Concrete in Besh-Ghardash Dam, Iran. Journal of Testing and Evaluation, Volume ۴۵, Issue ۱, pp: ۲۴۲-۲۴۸.
- [۱۵] Scientific-research journal, ۲۰۱۸. "Mining Engineering", Volume ۴, Number ۷, pp: ۱-۴-۴۲
- [۱۶] National Committee of Great Dams of Iran. ۱۹۹۷. Filler materials for creating sealing walls. Publications of the National Committee of Great Dams of Iran.
- [۱۷] ASTM D۴۳۱۸-۱۷e۱, ۲۰۱۷. Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [۱۸] ASTM C۹۳۹ / C۹۳۹M-۱۶a, ۲۰۱۶. Standard Test Method for Flow of Grout for Preplaced-Aggregate Concrete (Flow Cone Method), ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [۱۹] ASTM C۱۴۳ / C۱۴۳M-۲۰, ۲۰۲۰. Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [۲۰] ASTM D۳۱۴۸-۰۲, ۲۰۰۲. Standard Test Method for Elastic Moduli of Intact Rock Core Specimens in Uniaxial Compression (Withdrawn ۲۰۰۵), ASTM International, West Conshohocken, PA.

- [۲۱] ASTM C۴۶۹ / C۴۶۹M-۱۴, ۲۰۱۴. Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- [۲۲] ASTM C۶۱۷ / C۶۱۷M-۱۵, ۲۰۱۵. Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens, ASTM International, West Conshohocken, PA, ۲۰۱۵.
- [۲۳] Islamian F. ۲۰۰۵. Geometric properties of plastic concrete wall sealing of Karkheh dam, ۴th dam construction conference, Tehran Esfand.
- [۲۴] Sedghiani M.H., Soodkhah M. ۲۰۰۱. Investigation of mechanical behavior of plastic concrete mixing designs of Karkheh dam sealing wall and its optimization based on design needs. First International Concrete and Development Conference, Tehran, May.
- [۲۵] Khaloo, A., ۱۹۹۷. Effective parameters in the behavior of plastic concrete, the first seminar on earth and gravel dams, Tehran, October.
- [۲۶] Coduto D. Geotechnical Engineering, ۲۰۱۰. Principles & Practices (2nd Edition), Publisher: Pearson; 2nd edition, ۲۰۱۰.